



DEUTSCHES
PATENTAMT

21 Aktenzeichen: 197 15 537.5
22 Anmeldetag: 14. 4. 97
43 Offenlegungstag: 9. 10. 97

22 P 15111
51 Int. Cl.⁸:
C 03 B 33/09
C 03 B 33/02
B 28 F 3/16

DE 197 15 537 A 1

2

Mit Einverständnis des Anmelders offengelegte Anmeldung gemäß § 31 Abs. 2 Ziffer 1 PatG

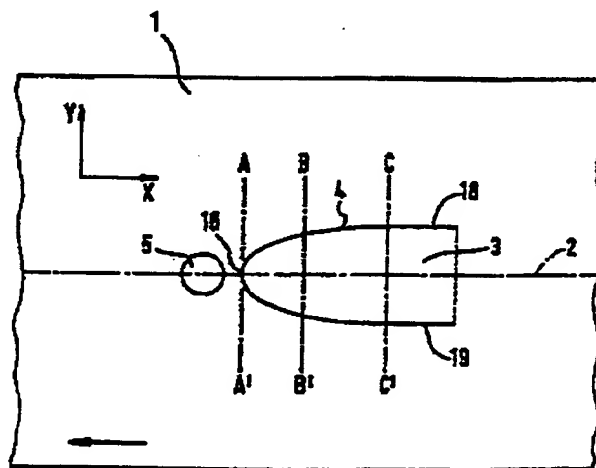
71 Anmelder:
Schott Glaswerke, 55122 Mainz, DE
74 Vertreter:
Fuchs, Mehler, Weiß, 65189 Wiesbaden

72 Erfinder:
Ostendarp, Heinrich, Dr., 55128 Mainz, DE; Stein,
Jürgen, 55131 Mainz, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren und Vorrichtung zum Durchtrennen von flachen Werkstücken aus sprödem Material, insbesondere aus Glas.

57 Es wird ein Verfahren und eine Vorrichtung beschrieben, mit dem flache Werkstücke, insbesondere mit größerer Dicke, z. B. Glasscheiben (1) mit einer Dicke größer 0,2 mm durchtrennt werden können, ohne daß Mikrorisse, Ausmuschelungen oder Spalter auftreten. Bei dem Verfahren wird mit einem bezüglich der Trennlinie (2) symmetrischen Wärmestrahlungsfleck (3) gearbeitet, der eine erhöhte Strahlungsintensität in seinem Randbereich besitzt, wobei der Wärmestrahlungsfleck (3) längs der Trennlinie (2) und/oder das Werkstück bewegt werden und der erwärmte Trennlinienabschnitt anschließend gekühlt wird. Es wird ein Wärmestrahlungsfleck verwendet, der längs der Trennlinie (3) kein oder lediglich am hinteren Ende (18) des Wärmestrahlungsflecks ein lokales Intensitätsmaximum besitzt.



DE 197 15 537 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Durchtrennen von flachen Werkstücken aus sprödem Material, insbesondere aus Glas gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1. Die Erfindung bezieht sich auch auf eine Vorrichtung gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 10.

Konventionelle Trennverfahren für Flachglas basieren darauf, mittels eines Diamanten oder eines Schneidrädchens zunächst eine Ritzspur im Glas zu generieren, um das Glas anschließend durch eine äußere mechanische Kraft entlang der so erzeugten Schwachstelle zu brechen. Nachteilig ist bei diesem Verfahren, daß durch die Ritzspur Partikel (Splitter) aus der Oberfläche gelöst werden, die sich auf dem Glas ablagern können und dort beispielsweise zu Kratzern führen können. Ebenfalls können sogenannte Ausmuschelungen an der Schnittkante entstehen, die zu einem unebenen Glasrand führen. Weiterhin führen die beim Ritzen entstehenden Mikrorisse in der Schnittkante zu einer verringerten mechanischen Beanspruchbarkeit, d. h. zu einer erhöhten Bruchgefahr.

Ein Ansatz, sowohl Splitter als auch Ausmuschelungen und Mikrorisse zu vermeiden, besteht im Trennen von Glas auf der Basis thermisch generierter Spannung. Hierbei wird eine Wärmequelle, die auf das Glas gerichtet ist, mit fester Geschwindigkeit über das Glas bewegt und so eine derart hohe thermische Spannung erzeugt, daß das Glas Risse bildet. Der notwendigen Eigenschaft der Wärmequelle, die thermische Energie lokal, d. h. mit einer Genauigkeit besser einen Millimeter, was den typischen Schnittgenauigkeiten entspricht, positionieren zu können, genügen Infrarotstrahler, spezielle Gasbrenner und insbesondere Laser. Laser haben sich wegen ihrer guten Fokussierbarkeit, guten Steuerbarkeit der Leistung sowie der Möglichkeit der Strahlformung und damit der Intensitätsverteilung auf Glas bewährt und durchgesetzt.

Aus der DE-AS 12 44 346 ist ein Verfahren zum Ritzen von Glas bekannt, bei dem entlang der Schnittbahn eine Erwärmung des Glases mittels eines Laserstrahls erzeugt wird, wobei eine Temperatur unterhalb der Schmelztemperatur des Glases eingestellt wird. Im Anschluß an die Erwärmung wird das Glas gekühlt und durch Klopfen oder Biegen abgetrennt. Es kann auch eine Erwärmung über die Schmelztemperatur herbeigeführt werden, so daß ein feiner Spalt herausgeschmolzen wird.

Die GB-PS 1,433,563 beschreibt ein Verfahren, bei dem mit zwei Laserstrahlen gearbeitet wird, wobei ein Strahl mit niedrigerer Energie zum Vorwärmen eingesetzt wird.

In der DE 44 11 037 C2 wird ein Verfahren beschrieben, bei dem in ein Hohlglas mittels eines Laserstrahls eine umlaufende Spannungszone mit einer Temperatur von 250°C eingebracht wird. Nach dem Einbringen der Spannungszone wird mit einer Anrißspitze durch kurzzeitigen Kontakt mit der Oberfläche des Hohlglases mechanisch ein kurzer Startriß eingebracht, der im wesentlichen auf die Spur der maximalen Intensität des Laserstrahls und damit der höchsten Temperatur gesetzt wird. Die Spannungszone wird mittels eines flüssigkeitsgetränkten Vlieses gekühlt, wodurch der Thermoschock und damit die Spannungen so erhöht werden, daß sich der Startriß zu einem Trennriß ausbildet.

Das aus der WO 93/20015 bekannte Verfahren nutzt einen Laserstrahl mit elliptischer Form. Dieses Verfah-

ren zeigt gute Ergebnisse beim gradlinigen Ritzen von nichtmetallischem Plattenmaterial, kann jedoch kein hochwertiges und hochpräzises Ritzen entlang einer gekrümmten Kontur sichern. Zudem weist das genannte Verfahren eine geringe Stabilität des Schneidablaufs bei einer hohen Strahlungsdichte und hohen Schnittgeschwindigkeiten auf.

Dies hängt damit zusammen, daß die Erhitzung mit einem Laserbündel mit elliptischem Querschnitt und der Gaußschen Verteilung der Strahlungsdichte in einem sehr engen Bereich erfolgt, wobei sich die Temperatur von der Peripherie zum Zentrum gravierend erhöht. Es ist extrem kompliziert, ein stabiles Thermospalten bei hoher Geschwindigkeit, hoher Ritztiefe und dennoch auch eine stabile Leistungsdichte zu erzielen, wenn die Erhitzung des Werkstoffes häufig mit dessen Überhitzung im zentralen Bereich des Bestrahlungsbereiches einhergeht, d. h. die Aufweichtemperatur des Materials überschritten wird, obwohl dies bei hochwertigem Schneiden unzulässig ist.

Um die Erhitzungsbedingungen des Materials entlang der Schnittlinie zu optimieren, erfolgt das Erhitzen gemäß der WO 96/20062 mittels eines Wärmestrahlbündels, in dessen Querschnitt, der durch das Zentrum des Bündels verläuft, sich die Dichte der Strahlungsleistung abnehmend von der Peripherie zum Zentrum hin verteilt. Es wird ein elliptisches Strahlenbündel verwendet, das eine Temperaturverteilung in Form eines elliptischen Ringes bewirkt. Ein Nachteil dieses Verfahrens besteht darin, daß im vorderen Bereich des elliptischen Strahlungsbündels in Schriedrichtung gesehen im Bereich der Trennlinie bereits eine unnötige Aufheizung stattfindet. Hierdurch findet in der Mitte des Strahlungsbündels, d. h. auf der Trennlinie eine unnötig große Aufheizung statt, so daß am Ende des Strahlungsbündels, wo die Strahlungsintensität wiederum im Bereich der Trennlinie sehr groß wird, das Glas unter Umständen schon aufschmelzen kann.

Mit diesem Verfahren können ferner nur Gläser mit einer Stärke bis typischerweise 0,2 Millimeter durchtrennt werden, weil bei höheren notwendigen Strahlleistungen ansonsten ein Aufschmelzen stattfindet und der Riß unterbricht. Bei größeren Glasdicken findet nur ein Ritzen des Glases statt.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren und eine Vorrichtung bereitzustellen, mit dem flache Werkstücke, insbesondere mit größerer Dicke, z. B. Glasscheiben mit einer Dicke größer 0,2 Millimeter, durchtrennt werden können, ohne daß Mikrorisse, Ausmuschelungen oder Splitter auftreten. Weiter soll bei dicken Gläsern eine Ritztiefe erzielt werden, die größer als die mit anderen Verfahren erzielbare Ritztiefe ist.

Diese Aufgabe wird mit einem Verfahren gemäß dem Patentanspruch 1 gelöst.

Gemäß der ersten Alternative besitzt der Wärmestrahlungsfleck längs der Trennlinie lediglich am hinteren Ende ein lokales Intensitätsmaximum. Die Angabe "am hinteren Ende" bezieht sich auf die Schneidrichtung.

Dadurch wird erst zum Ende der Wärmebehandlung auf der Trennlinie Energie eingebracht und damit eine hohe Temperatur im Werkstück erreicht. Es wird dadurch eine hohe mechanische Spannung mit einem lokalen Temperaturmaximum auf der Trennlinie erzeugt. Bei nachfolgender Kühlung auf der Trennlinie und vorheriger Schwächung des Glases am Startpunkt des Schnittes reißt das Glas entlang des Vorschubes auf der Trennlinie. Wegen des starken lokalen Temperaturma-

ximums auf der Trennlinie folgt der Schnitt sehr präzise der Trennlinie, was beispielsweise bei Präzisionsschnitten in der Displayindustrie notwendig ist.

Gemäß der zweiten Alternative braucht der Wärmestrahlungsfleck längs der Trennlinie überhaupt kein lokales Maximum aufzuweisen. In diesem Fall besitzt der Wärmestrahlungsfleck lediglich auf beiden Seiten neben der Trennlinie einen streifenförmigen Bereich erhöhter Intensität, was den Vorteil bietet, daß die technische Realisierung einfacher ist als bei der ersten Alternative.

In beiden Fällen wird auf großer Breite eine homogene Aufheizung des Werkstücks, insbesondere auch in der Tiefe, gewährleistet.

Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, daß ein mechanisches Brechen nach der Wärme- und Kühlbehandlung nicht notwendig ist, so daß saubere Trennkanten erzielt werden.

Vorzugsweise wird ein Wärmestrahlungsfleck verwendet, der eine V- oder U-förmige Kontur aufweist. Die Bereiche des Wärmestrahlungsflecks mit erhöhter Strahlungsintensität liegen daher vorzugsweise auf einer V- oder U-förmigen Kurve, die sich in Schneidrichtung öffnet. Die beiden Schenkel der V- bzw. U-förmigen Kurve liegen gleich beabstandet benachbart der Trennlinie, so daß bei einer derartigen Gestalt des Wärmestrahlungsflecks die Werkstückoberfläche durch die beiden beabstandeten Intensitätsmaxima zunächst auf einer großen Breite, die bis zu einigen Millimetern betragen kann, aufgeheizt wird, wobei zwischen beiden Intensitätsmaxima zunächst ein lokales Temperaturminimum besteht. Durch das Zusammenlaufen der Schenkel der V- bzw. U-förmigen Kurve am hinteren Ende des Wärmestrahlungsflecks wird das lokale Temperaturminimum zunehmend verringert, d. h. die Temperatur im Bereich der Trennlinie nimmt zum Ende des Wärmestrahlungsflecks hin zu und erreicht dort ein lokales Temperaturmaximum, insbesondere an der Werkstückoberfläche, das aber noch unterhalb der Schmelztemperatur des Werkstücks liegt. Ein derartiger Wärmestrahlungsfleck bewirkt, daß im Bereich des Abstandes der Intensitätsmaxima eine homogene Aufheizung des Werkstückes auf großer Breite und auch in der Tiefe auf eine Temperatur unterhalb der Schmelztemperatur erreicht wird, was bei einem Strahl mit einer maximalen Intensität im Zentrum, insbesondere am Anfang des Wärmestrahlungsflecks, nicht der Fall ist. Der so erzeugten Aufheizspur folgt eine unmittelbare Kühlung mittels einer Flüssigkeit, eines Gases oder eines unterkühlten mechanischen Tastkopfes, die auf der Trennlinie die größte Intensität hat. Diese Kühlung bewirkt eine Kontraktion des Materials. Durch die Aufheizung auf großer Breite mit einem Temperaturmaximum auf der Trennlinie wird in Kombination mit der Kühlung, die ebenfalls auf der Trennlinie ihre größte Wirkung zeigt, eine vergleichsweise hohe mechanische Spannung mit einem starken lokalen Maximum auf der Trennlinie erzeugt. Dadurch ist es möglich, auch große Werkstückdicken sauber zu durchtrennen. In Versuchen konnte gezeigt werden, daß Glasscheiben mit einer Dicke bis zu 1,1 mm stabil durchtrennt werden können.

Vorzugsweise liegt das lokale Intensitätsmaximum bezüglich der Trennlinie im Scheitelpunkt der V- oder U-förmigen Kurve. Um ein Aufschmelzen zu verhindern, ist das lokale Intensitätsmaximum geringer als die Strahlungsintensität im Bereich der Schenkel der V- oder U-förmigen Kurve. Insofern kann das lokale Intensitätsmaximum bezüglich der Trennlinie das Minimum der V- oder U-förmigen Kurve bilden.

Die Breite des Wärmestrahlungsflecks, d. h. die Breite der V- oder U-förmigen Kurve liegt vorzugsweise bei 0,5 bis 2 mm. Die Länge des Wärmestrahlungsflecks, d. h. die Länge der V- oder U-förmigen Kurve kann 10 bis 30 mm betragen. Bei der Einstellung dieser Werte sind im Hinblick auf eine homogene Erwärmung in der Tiefe des Werkstücks u. a. die Vorschubgeschwindigkeit, Werkstückdicke, Strahlungsintensität und die Materialeigenschaften zu berücksichtigen.

Gemäß einer besonderen Ausführungsform wird der Wärmestrahlungsfleck durch Scannen eines Laserstrahls erzeugt.

Vorzugsweise wird das Scannen in Form einer Ellipse durchgeführt, wobei der Laser zur Erzeugung einer V- oder U-förmigen Kurve abwechselnd ein- und ausgeschaltet oder der Strahl ein- und ausgeblendet wird.

Die Vorrichtung zum Durchtrennen von flachen Werkstücken aus sprödem Material, insbesondere aus Glas, ist dadurch gekennzeichnet, daß die optische Einrichtung und/oder die Wärmestrahlungsquelle zur Erzeugung eines Wärmestrahlungsflecks ausgebildet ist, der längs der Trennlinie keine oder lediglich am hinteren Ende des Wärmestrahlungsflecks ein lokales Intensitätsmaximum besitzt.

Gemäß einer ersten Ausführungsform kann eine Scannereinrichtung verwendet werden. Dementsprechend weist die optische Einrichtung zwei senkrecht zueinander angeordnete, oszillierende, synchronisierte Spiegel auf, die einen Laserstrahl auf die Oberfläche des Werkstücks lenken, wo er eine V- oder U-förmige Kurve beschreibt.

Um die Synchronisation der beiden Spiegel zu realisieren, sind die Antriebseinrichtungen der beiden oszillierenden Spiegel an eine gemeinsame Steuereinrichtung angeschlossen. Vorzugsweise liegt die Oszillatorfrequenz der beiden Spiegel bei 500 bis 2000 Hz, so daß eine Schneidgeschwindigkeit von 50 mm/sec bis 1000 mm/sec erreicht werden kann, was von der eingesetzten Strahlungsintensität abhängt.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform einer Scannereinrichtung weist die optische Einrichtung ein Spiegelrad auf, dessen Oberfläche derart gekrümmt ist, daß ein darauf reflektierter Laserstrahl während einer Rotation des Spiegelrades mindestens eine U- oder V-förmige Kurve auf der Oberfläche des zu durchtrennenden Werkstückes beschreibt.

Die Rotationsfrequenz des Spiegelrades liegt bei 500 bis 3000 Hz, so daß die genannten Vorschubgeschwindigkeiten erreicht werden können.

Vorzugsweise wird ein Laser mit einer Wellenlänge eingesetzt, die in dem Material eine große Absorption erfährt. Beispielsweise wird für Glas ein CO₂-Laser verwendet, der mit einer Wellenlänge von 10,6 µm ausgestattet ist und kommerziell günstig zu erhalten ist. Die maximale Ausgangsleistung des Lasers beträgt typischerweise 150 Watt.

Die Intensität des Lasers ist vorzugsweise während jedes Durchlaufs der V- oder U-förmigen Kurve veränderbar, so daß im Bereich des Scheitelpunktes der V- oder U-förmigen Kurve die Strahlungsintensität variiert werden kann. Die Strahlungsintensität wird vorzugsweise so eingestellt, daß die Schmelztemperatur des Werkstücks nicht überschritten wird.

Eine Steuerung der Scannerbewegung, die den Scanner bei Kreisschnitten und Freiformschnitten so steuert, daß eine der Kurvenbahn angepaßte, gekrümmte V- oder U-förmige Intensitätsverteilung entsteht, ist ebenfalls möglich.

Anstelle dieser sogenannten Scannereinrichtungen kann die gewünschte Form des Wärmestrahlungsflecks auch durch strahlformende Optiken erreicht werden.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, eine Wärmestrahlungsquelle in Form eines Lasers mit einem TEM 01*-Mode zu verwenden, wobei die optische Einrichtung eine entsprechende Blende umfaßt, die einen Teil des Strahls derart ausblendet, daß die erhöhte Strahlungsintensität im Bereich der Werkstückoberfläche beispielsweise auf einer U-förmigen Kurve liegt. Ein TEM 01*-Mode wird erzeugt durch einen speziellen Resonatoraufbau eines CO₂-Lasers.

Bezüglich der Kühleinrichtung kann beispielsweise ein unterkühlter metallischer Tastkopf verwendet werden. Ferner besteht die Möglichkeit, als Kühleinrichtung eine Gasstrahleinrichtung, eine Flüssigkeitsinjektionseinrichtung oder eine Flüssigkeitszerstäubungseinrichtung zu verwenden. Beispielhafte Ausführungsformen der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnungen näher erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1 die Draufsicht auf einen Ausschnitt auf ein zu durchtrennendes Werkstück,

Fig. 2 eine dreidimensionale Darstellung des Intensitätsverlaufs eines Wärmestrahlungsflecks,

Fig. 3 Schnitte durch das Intensitätsprofil bzw. Temperaturprofil durch den in Fig. 1 gezeigten Wärmestrahlungsleck längs der Linien A-A', B-B' und C-C',

Fig. 4 eine graphische Darstellung des Temperaturverlaufs längs der Trennlinie,

Fig. 5 eine perspektivische Darstellung einer optischen und einer Kühleinrichtung,

Fig. 6 eine perspektivische Darstellung einer weiteren Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung, und

Fig. 7a-c Darstellungen einer weiteren Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit Intensitätsprofilen.

In der Fig. 1 ist die Draufsicht auf eine Glasscheibe 1 dargestellt, die längs der Linie 2 (Trennlinie) durchtrennt werden soll. Auf die Oberfläche der Glasscheibe 1, die in Pfeilrichtung (Vorschubrichtung) bewegt wird, wird ein Wärmestrahlungsleck 3 gerichtet, der eine U-förmige Kontur aufweist. Die Bereiche erhöhter Strahlungsintensität sind durch die U-förmige Kurve 4 gekennzeichnet, die sich in Vorschubrichtung öffnet. Die Gestalt des Wärmestrahlungsflecks entspricht in etwa einer halben Ellipse, deren breiter Bereich das vordere Ende des Wärmestrahlungsflecks 3 bildet.

Die beiden Schenkel 18, 19 der U-förmigen Kurve 4 liegen beabstandet und symmetrisch zur Trennlinie 2. Der Abstand der Schenkel 18, 19 beträgt im vorderen Bereich des Wärmestrahlungsflecks 3 etwa 1 mm. Der Abstand der beiden Schenkel 18, 19 verringert sich zum Scheitelpunkt 16, der auf der Trennlinie 2 liegt.

In der Fig. 2 ist die Intensitätsverteilung des Wärmestrahlungsflecks 3 dreidimensional dargestellt. Es ist zu sehen, daß die Kammlinie der Intensitätsmaxima zum Scheitelpunkt 16 abfällt, wo sich das lokale Maximum 17 bezüglich der Trennlinie 2 befindet. Im Inneren des Wärmestrahlungsflecks ist die Intensität deutlich geringer. Die Höhe des lokalen Maximums 17 muß entsprechend der Werkstückdicke und der Schneidgeschwindigkeit eingestellt werden. Bei hoher Schneid- oder Vorschubgeschwindigkeit muß das lokale Maximum 17 höher sein als bei einer geringeren Vorschubgeschwindigkeit. Hierbei muß das lokale Maximum 17 auch auf die Höhe der Strahlungsintensität im vorderen Bereich der

Kurve 4 abgestimmt werden.

Das lokale Maximum bezüglich der Trennlinie muß nicht gleichzeitig das Minimum der Kurve 4 bilden. Wenn beispielsweise ein Laser ohne Leistungssteuerung verwendet wird, kann im Scheitelpunkt 16 die Intensität eine leichte Überhöhung aufweisen.

In der Fig. 3 sind drei Schnitte durch das Intensitätsprofil längs der Linie A-A', B-B' und C-C' (siehe Fig. 1) dargestellt. Man sieht, daß der Kurvenverlauf, der durch den Schnitt C-C' gekennzeichnet ist, zwei beabstandete Maxima aufweist, die deutlich höher sind, als die beiden beabstandeten Maxima beim Schnitt B-B'. Im Scheitelpunkt 16, der durch den Schnitt A-A' gekennzeichnet ist, ist das Intensitätsmaximum noch einmal deutlich niedriger. Dadurch, daß durch die beiden Maxima eine Vorerwärmung in einem breiten Bereich um die Trennlinie eine Art Vorerwärmung stattgefunden hat, zeigt das Temperaturprofil bezüglich des Schnittes B-B' im Bereich der Trennlinie nur ein geringes lokales Minimum. Dieses Minimum wird durch die relativ geringe Intensität im Scheitelpunkt ausgeglichen, so daß sich im Scheitelpunkt 16 ein Temperaturverlauf mit einem Maximum im Bereich der Trennlinie 2 zeigt. Dieses Maximum liegt noch unterhalb der Glastemperatur T_g.

In der Fig. 4 ist der Temperaturverlauf längs der Trennlinie unter Einbeziehung des Kühlflecks 5 dargestellt.

In der Fig. 5 ist die Vorrichtung zur Erzeugung eines Wärmestrahlungsleckes 3 auf einer Glasplatte 1 dargestellt. Auf der Oberfläche der Glasplatte 1 ist die Trennlinie 2 sowie die U-förmige Kurve erhöhter Intensität 4 dargestellt. Als Wärmestrahlungsquelle ist ein Laser 6 vorgesehen, insbesondere ein CO₂-Laser, der einen Laserstrahl 7 aussendet. Dieser Laserstrahl 7 trifft auf einen ersten um eine vertikale Achse oszillierenden Spiegel 8, der den Strahl 7 in einer Ebene parallel zur Oberfläche der Glasscheibe 1 hin und her bewegt. Dieser oszillierende Laserstrahl trifft auf einen zweiten um eine horizontale Achse oszillierenden Spiegel 9, der den reflektierten Laserstrahl in X-Richtung hin und her bewegt. Die Anordnung der Spiegel 8 und 9 kann auch vertauscht sein. Aufgrund der Überlagerung der beiden oszillierenden Bewegungen beschreibt der Laserstrahl auf der Werkstückoberfläche die gewünschte U-förmige Kurve 4. Um die Oszillationen der beiden Spiegel 8 und 9 so aufeinander abzustimmen, daß diese U-förmige Kurve 4 erzielt wird, ist eine gemeinsame Steuer- und Regeleinrichtung 11 vorgesehen, die an die nicht dargestellten Antriebe der beiden Spiegel 8, 9 über die Steuerleitungen 10a, 10b angeschlossen ist.

Die Spiegel 8 und 9 können auch so angesteuert sein, daß der Laserstrahl auf dem Werkstück eine geschlossene Kurve durchlaufen würde. Um eine U- oder V-förmige Kurve zu erhalten, wird der Laser entsprechend ein- oder ausgeschaltet.

Hinter dem Wärmestrahlungsleck 3 ist der Kühlfleck 5 eingezeichnet, der durch das aus einer Sprühdüse 12 austretende Kühlgas erzeugt wird. Diese Sprühdüse ist an eine Versorgungseinheit 13 angeschlossen.

In der Fig. 6 ist ein Werkstück 1 dargestellt, auf dessen Oberfläche ein Wärmestrahlungsleck 3 mit dreieckförmiger Gestalt gerichtet wird. Die Bereiche erhöhter Intensität sind durch die V-förmige Kurve 4 gekennzeichnet. Auch diese V-förmige Kurve 4 ist symmetrisch zur Trennlinie 2 angeordnet, so daß der Scheitelpunkt 16 auf der Trennlinie 2 liegt. Um eine derartige V-förmige Kurve 4 einzustellen, ist ein Laser 6 vorgesehen, der einen Laserstrahl 7 aussendet, der auf ein Spiegelrad 14

trifft. Die Oberfläche des Spiegelrades 14 ist nicht zylindrisch, sondern gekrümmt ausgebildet, so daß während einer Rotation des Spiegelrades 14 auf der Werkstückoberfläche mindestens einmal die V-förmige Kurve 4 durchlaufen wird.

In der Fig. 7a ist eine Anordnung skizziert, bei der ein Laser 6 verwendet wird, der einen Laserstrahl 7 mit TEM 01*-Mode erzeugt. Zwischen Laserstrahl 6 und Werkstück 1 ist eine Blende 20 angeordnet, die die Hälfte des Strahls 7 ausblendet. Die entsprechenden Intensitätsprofile vor und hinter der Blende sind in den Fig. 7b und 7c dargestellt.

Das Verfahren erwies sich wegen der großen, erzielbaren mechanischen Spannung geeignet, Glas bis zu einer Dicke von 1,1 mm vollständig zu trennen, was mit den Verfahren gemäß des Standes der Technik bislang nicht nachgewiesen werden konnte. Bei typischen Vorschubgeschwindigkeiten von 50 mm/sec bis 500 mm/sec betrugen die Leistungen des verwendeten CO₂-Laserstrahls zwischen 12 Watt und 80 Watt. Der Wärmestrahlfleck hatte eine Länge von typischerweise 12 mm in Vorschubrichtung bei 1 mm Breite. Die Schnittkanten wiesen keine Mikrorisse, Ausmuschelungen und Splitter auf. Bei dickeren Gläsern oberhalb 0,7 mm Dicke trat ein nahezu senkrechter Tiefenriß bis hin zu einer Tiefe von einigen hundert Mikrometern auf, was mit obigen anderen Verfahren ebenfalls nicht erzielt werden konnte.

Bezugszeichenliste

1 Glasscheibe	
2 Trennlinie	
3 Wärmestrahlfleck	
4 Intensitätskontur	
5 Kühlfleck	
6 Laser	
7 Laserstrahl	
8 erster Umlenkspiegel	
9 zweiter Umlenkspiegel	
10a, b Steuerleitung	
11 Regel- und Steuereinrichtung	
12 Sprühdüse	
13 Versorgungseinheit	
14 Spiegelrad	
15 Oberfläche	
16 Scheitelpunkt	
17 lokales Intensitätsmaximum	
18 Schenkel	
19 Schenkel	
20 Blende	

Patentansprüche

1. Verfahren zum Durchtrennen von flachen Werkstücken aus sprödem Material, insbesondere aus Glas, bei dem die Trennlinie mit einem bezüglich der Trennlinie symmetrischen Wärmestrahlfleck, der eine erhöhte Strahlungsintensität in seinem Randbereich besitzt, erwärmt wird, wobei der Wärmestrahlfleck längs der Trennlinie und/oder das Werkstück bewegt wird, und bei dem der erwärmte Trennlinienabschnitt anschließend gekühlt wird, dadurch gekennzeichnet, daß ein Wärmestrahlfleck verwendet wird, der längs der Trennlinie kein oder lediglich am hinteren Ende des Wärmestrahlflecks ein lokales Intensitätsmaximum besitzt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein Wärmestrahlfleck verwendet wird, der eine V- oder U-förmige Kontur aufweist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Bereiche des Wärmestrahlflecks mit erhöhter Strahlungsintensität auf einer V- oder U-förmigen Kurve liegen, die sich zum vorderen Ende des Wärmestrahlflecks öffnet.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß das lokale Intensitätsmaximum bezüglich der Trennlinie im Scheitelpunkt der V- oder U-förmigen Kurve liegt.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß das lokale Intensitätsmaximum bezüglich der Trennlinie das Minimum der V- oder U-förmigen Kurve bildet.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß ein Wärmestrahlfleck mit einer Breite von 0,5 bis 2 mm verwendet wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß ein Wärmestrahlfleck mit einer Länge von 10 bis 30 mm verwendet wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Wärmestrahlfleck durch Scannen eines Laserstrahls erzeugt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Scannen des Laserstrahls in Form einer Ellipse erfolgt, wobei der Laser zur Erzeugung einer V- oder U-förmigen Kurve abwechselnd ein- und ausgeschaltet oder der Strahl ein- und ausgeblendet wird.

10. Vorrichtung zum Durchtrennen von flachen Werkstücken aus sprödem Material, insbesondere aus Glas, mit einer optischen Einrichtung, die eine Wärmestrahlsquelle, insbesondere einen Laser, und mindestens eine optische Komponente umfaßt, mit einer Einrichtung zum Bewegen des zu durchtrennenden Werkstücks und/oder der optischen Einrichtung längs einer Trennlinie, und mit einer Kühleinrichtung zum Kühlen des bestrahlten Trennlinienabschnitts, dadurch gekennzeichnet, daß die optische Einrichtung und/oder die Wärmestrahlsquelle zur Erzeugung eines Wärmestrahlflecks (3) ausgebildet ist, der längs der Trennlinie kein oder lediglich am hinteren Ende des Wärmestrahlflecks ein lokales Intensitätsmaximum besitzt.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die optische Einrichtung zwei senkrecht zueinander angeordnete oszillierende, synchronisierte Spiegel (8, 9) aufweist, die einen Laserstrahl (7) auf die Oberfläche des Werkstücks (1) lenken, wo er eine V- oder U-förmige Kurve (4) beschreibt.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Antriebseinrichtungen der beiden oszillierenden Spiegel (8, 9) an eine gemeinsame Steuer- und Regeleinrichtung (11) angeschlossen sind.

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Oszillationsfrequenz der Spiegel (8, 9) bei 500 bis 2000 Hz liegt.

14. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die optische Einrichtung ein

Spiegelrad (14) aufweist, das eine derart gekrümmte Oberfläche (15) besitzt, daß ein reflektierter Laserstrahl (7) während einer Rotation mindestens eine U- oder V-förmige Kurve (4) beschreibt.

15. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Rotationsfrequenz des Spiegelrades (14) bei 500 bis 3000 Hz liegt. 5

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Intensität des Lasers (6) während jedes Durchlaufs der V- oder U-förmigen Kurve (4) veränderbar ist, so daß längs der Bahn beliebige Intensitätsverbindungen erzeugt werden können. 10

17. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die optische Einrichtung strahlformende Optiken umfaßt. 15

18. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Wärmestrahlungsquelle ein Laser mit einem TEM 01st-Mode ist, und daß die optische Einrichtung eine Blende umfaßt, die einen Teil des Strahls derart ausblendet, daß die erhöhte Strahlungsintensität auf der Werkstückoberfläche eine V- oder U-förmige Kurve (4) beschreibt. 20

19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Kühleinrichtung ein unterkühlter metallischer Tastkopf ist. 25

20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Kühleinrichtung eine Gasstrahleinrichtung, eine Flüssigkeitsinjektionseinrichtung oder eine Flüssigkeitszerstäubungseinrichtung ist. 30

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

35

40

45

50

55

60

65

Fig. 1

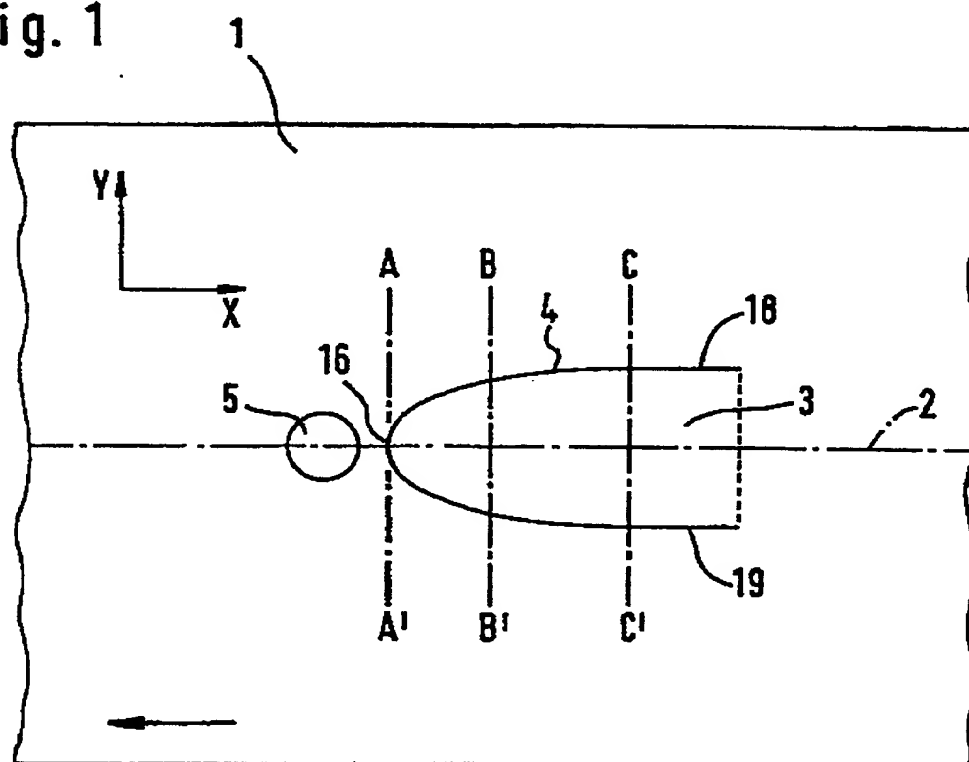


Fig. 2

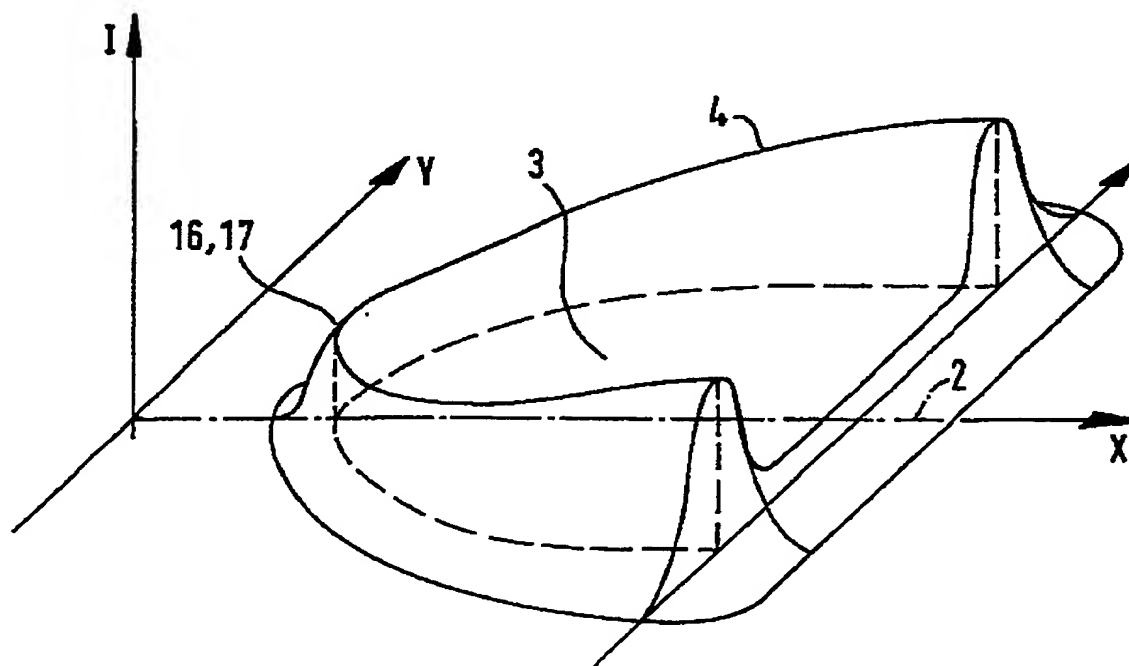


Fig. 3

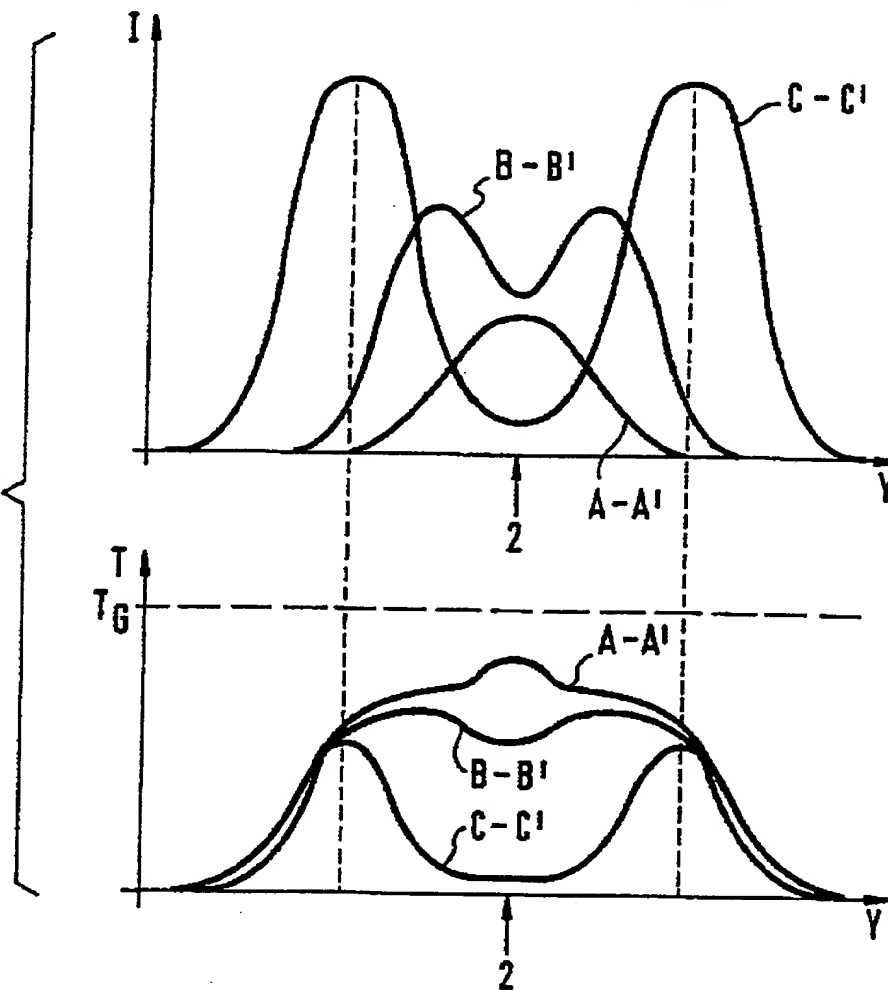


Fig. 4

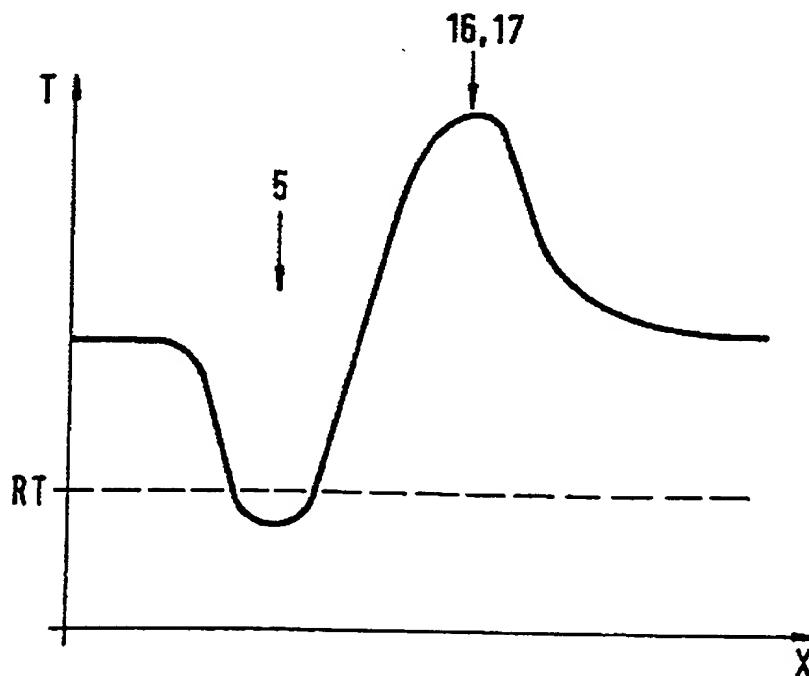


Fig. 5

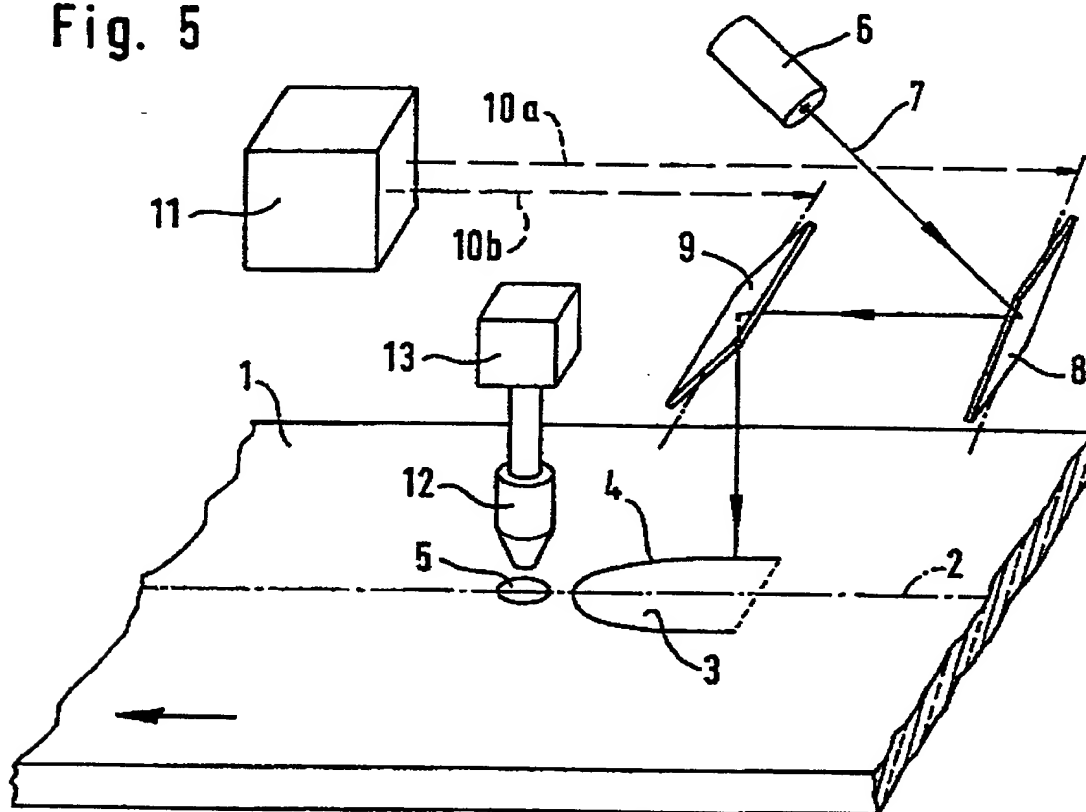


Fig. 6

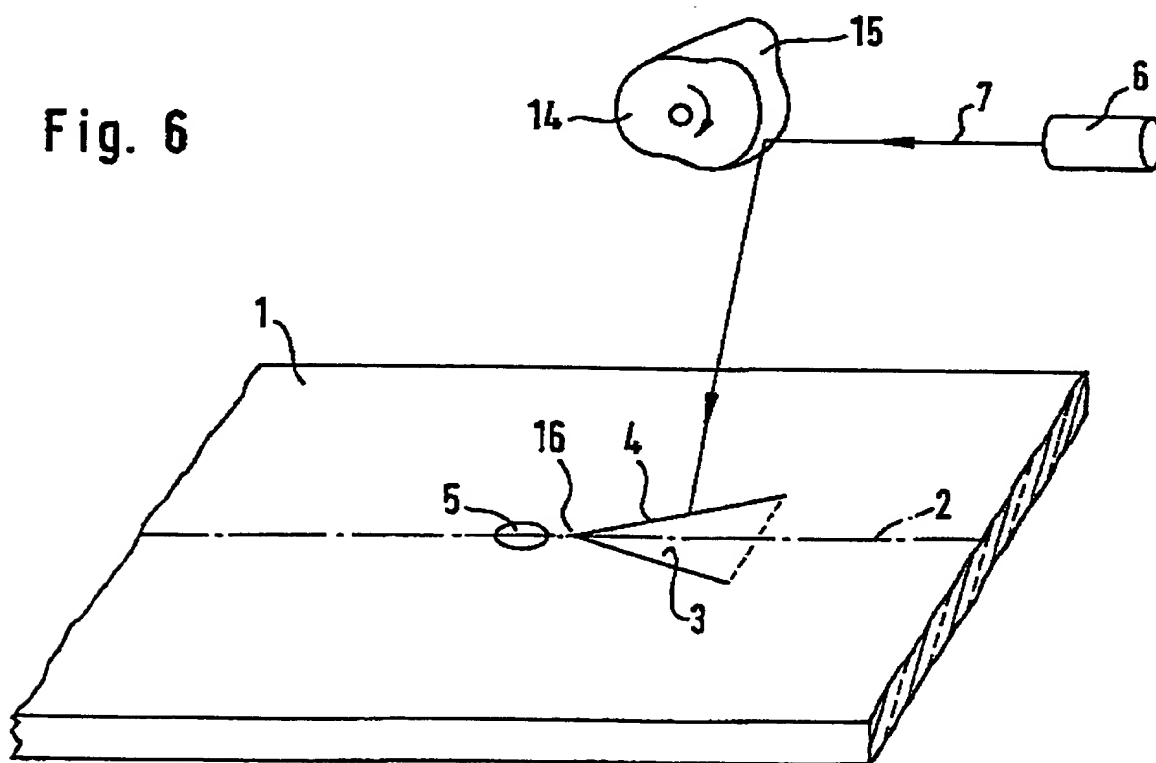


Fig. 7a

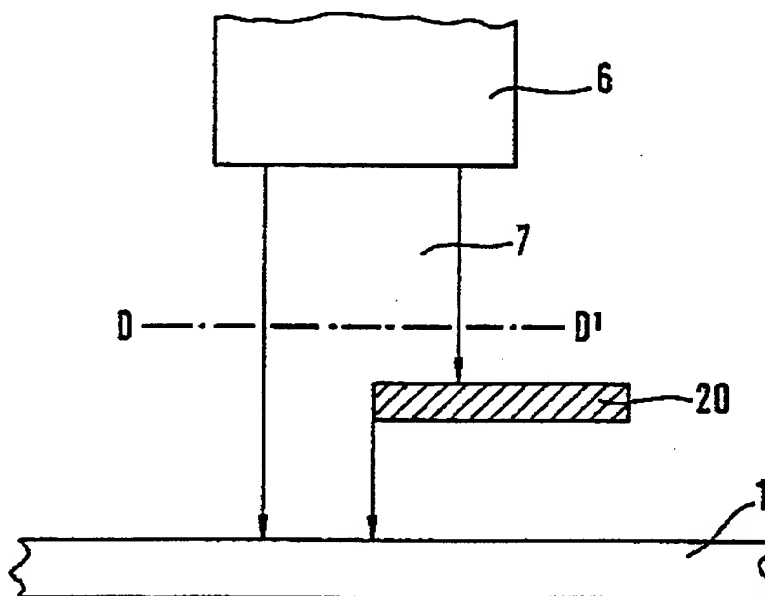


Fig. 7b

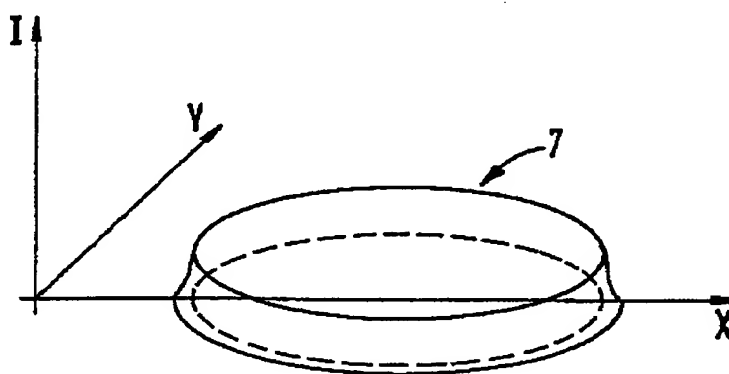


Fig. 7c

